

半導体デバイス製造プロセスにおける静電気障害防止技術の確立

〔研究代表者〕 清家善之（工学部電気学科）

〔共同研究者〕 森竜雄、一野祐亮（工学部電気学科）

研究成果の概要

半導体は我が国の最も重要な技術の一つである。半導体製造はフォトリソグラフィ工程、イオン打込み工程、エッチング工程、平坦化工程等数多くの工程を繰り返し行われるが、洗浄工程はいずれの工程の前後にも存在し、半導体製造プロセスの 1/3 は洗浄工程と言われている。この洗浄工程は、ウェハと呼ばれるシリコン基材上のナノメートルオーダーの異物（パーティクル）を除去するもので、1 パッチ 25 枚のフープ（カセット）の単位で、アンモニア水、過酸化水素水、塩酸等に温度をかけた薬品に、順次浸漬させる RCA 洗浄が一般的であった。しかし最近では、環境負荷の低減や半導体のデバイスの多品種化によって枚葉式の洗浄が求められ、純水をスプレーして洗浄する工程が増えてきている。しかしながら純水をスプレーして洗浄する場合、純水が絶縁体であるため静電気障害（ESD: Electrostatic discharge）が生じる課題がある。従来、このような帯電、放電現象による静電気障害の対策は経験的に行われ、要因を解明し、体系化することが難しかった。本研究では半導体デバイス製造のウエットプロセスにおける帯電・放電現象の要因を解明し、静電気の抑制技術の実用化が目標である。

本研究の主要テーマは「①二流体スプレー洗浄における帯電現象の解析と静電気防止技術」「②誘導帯電を利用した純水中の電荷制御技術」「③ウェハ表面の帯電分布計測と ESD 防止技術」「④AI の用いた静電気障害防止技術」であり、本年度、二流体スプレー洗浄における静電気防止技術を確立したので報告する。本年度は①の項目として二流体スプレー洗浄における帯電現象の解明の一つとして、スプレーの吹き始めの帯電挙動について確認した。②の項目として、酸化膜付きシリコンウェハ表面は負極性で帯電することを確認した。また④の項目として二流体スプレーの様子を高速度カメラでとらえ、その画像よりスプレー条件を推測するアルゴリズムを作成した。

研究分野：電気電子材料学、電子デバイス製造プロセス、品質工学

キーワード：半導体デバイス、二流体スプレー、静電障害、誘導帯電素子、帯電分布

1. 研究開始当初の背景

半導体は我が国の最も重要な技術の一つである。半導体製造はフォトリソグラフィ工程、イオン打込み工程、エッチング工程等数多くの工程を繰り返し行われるが、洗浄工程はいずれの工程の前後にも存在し、半導体製造プロセスの 1/3 は洗浄工程と言われている。この洗浄工程は、ウェハと呼ばれるシリコン基材上のナノメートルオーダーのパーティクルを除去するもので、1 パッチ 25 枚のフープの単位で、アンモニア水、過酸化水素水、塩酸等に温度をかけた薬品に、順次浸漬させる RCA 洗浄が一般的であった。しかし最近では、環境負荷の低減や半導体のデバイスの多品種化によって枚葉式の洗浄が求められ、純水をスプレーして洗浄する工程が増えてきている。しかしながら純水を

スプレーして洗浄する場合、純水が絶縁体であるため静電気障害が生じる課題がある。従来、このような帯電、放電現象による静電気障害の対策は経験的に行われ、要因を解明し、体系化することが難しい。

2. 研究の目的

本研究では半導体デバイス製造のウエットプロセスにおける帯電・放電現象の要因を解明し、静電気の抑制技術の実用化が目標である。

3. 研究の方法

(1) テーマ

本研究の主要テーマは「①二流体スプレー洗浄における

帯電現象の解析と静電気防止技術」「②誘導帯電を利用した純水中の電荷制御技術」「③ウェハ表面の帯電分布計測と ESD 防止技術」「④AI の用いた静電気障害防止技術」であり、本年度行った項目①と項目②について報告する。

4. 研究成果

(1) 誘導帯電を利用した純水中の電荷制御技術

図 1 に誘導体素子の取り付け付けた二流体スプレーでウェハを洗浄している様子を示す。二流体スプレー洗浄はガスと純水を混ぜ合わせて霧化して洗浄する方法である。静電気障害はウェハ中心部に発生することが多く、スプレーの吹き始めに何か特異な現象が起きているのではないかと、思い調査した。図 2 は 二流体スプレーノズルの吹き始めの電流変化を示す。このように過度現象が生じていることを確認した。この現象を解明するために二流体スプレーの吹き始めの様子を高速ビデオカメラで測定したところ、液滴塊が確認され、それが原因と考えている。

(2) ウェハ表面の帯電分布計測

二流体スプレー後のシリコンウェハ表面の電位がどのような挙動になるか調査した。純水を二流体スプレー後、

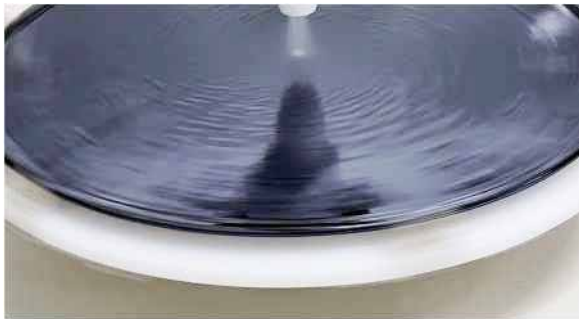


図 1 二流体スプレーでの洗浄の様子

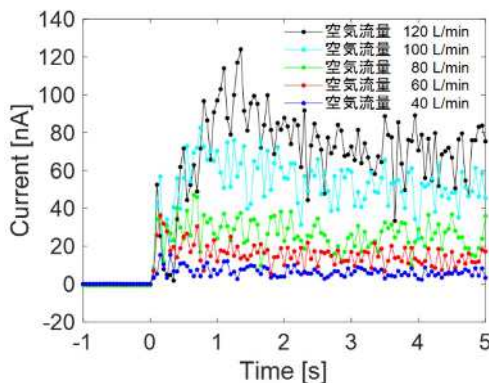


図 2 二流体スプレーノズルの吹き始めの電流変化

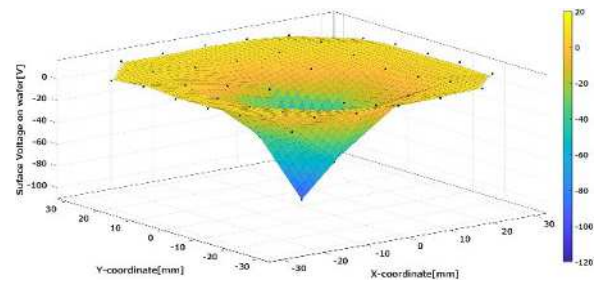


図 3 二流体スプレー後の酸化膜シリコンウェハの表面電位

表面電位計 (Trek Model323) で測定した。スプレー条件はエア流量 0.1L/min、純水流量 : 80mL/min、ウェハと二流体スプレーの距離 75mm である。測定結果を図 3 に示す。電位は負極性を示した。また噴射条件を変えて測定した場合、ウェハ表面付近の液滴速度が速いほど、負の電位が大きくなる傾向にあった。このことは洗浄力と発生電位はトレードオフの関係があることを示す。

5. 謝辞

本研究はソニーセミコンダクタマニュファクチャリング株式会社とソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社と愛知工業大学プロジェクト共同研究で行ったものである。両社には深く感謝する。

6. 本研究に関する発表

- (1) Y. Seike et al, Solid State Phenomena, **346**, 244-249, (2023).
- (2) 清家善之、砥粒加工学会誌, **67**(7) 389-392, (2023).
- (3) 清家善之、混相流, **32**(2), 189-196, (2023)
- (4) Y Seike et al., The 9th Annual World Congress of Advanced Materials (WCAM-2023), 203-3.(2023)
- (5) 鈴木洋陽他、静電気学会誌. **47**(3), (2023).
- (6) 福岡靖晃他、静電気学会誌, **46**(1) 8- 13, (2022).
- (7) 鈴木洋陽他、静電気学会誌. **46**(1), 38- 43, (2022).
- (8) Y. Seike et. al., International Symposium on Non-thermal Plasma Technology and International Symposium on Electrohydrodynamics (ISNTP-12/ISEHD 2022), O-60.
- (9) H. Suzuki et. al., International Symposium on Non-thermal Plasma Technology and International Symposium on Electrohydrodynamics (ISNTP-12/ISEHD 2022), P-16.